

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

PRIORITY DOCUMENT
 SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
 COMPLIANCE WITH
 RULE 17.1(a) OR (b)



EPO-BERLIN
 16-05-2003

REC'D 06 JUN 2003

WIPO PCT

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
 einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 102 17 284.6

Anmeldetag: 12. April 2002

Anmelder/Inhaber: Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der
 angewandten Forschung eV, München/DE

Bezeichnung: Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger
 Verbindungen

IPC: G 01 M 19/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 08. Mai 2003
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
 Im Auftrag

Wehner

Pfenning, Meinig & Partner GbR

Patentanwälte
European Patent Attorneys
European Trademark Attorneys
Dipl.-Ing. J. Pfenning (-1994)
Dipl.-Phys. K. H. Meinig (-1995)
Dr.-Ing. A. Butenschön, München
Dipl.-Ing. J. Bergmann*, Berlin
Dipl.-Chem. Dr. H. Reitzle, München
Dipl.-Ing. U. Grambow, Dresden
Dipl.-Phys. Dr. H. Gleiter, München
Dr.-Ing. S. Golkowsky**, Berlin
*auch Rechtsanwalt
**nicht Eur. Pat. Alt.

80336 München, Mozartstraße 17
Telefon: 089/530 93 36
Telefax: 089/53 22 29
e-mail: muc@pmp-patent.de
10719 Berlin, Joachimstaler Str. 10-12
Telefon: 030/88 44 810
Telefax: 030/881 36 89
e-mail: bin@pmp-patent.de
01217 Dresden, Gostritzer Str. 61-63
Telefon: 03 51/87 18 160
Telefax: 03 51/87 18 162
e-mail: dd@pmp-patent.de

Berlin
12. April 2002
02/38133-IST

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT zur
Förderung der angewandten
Forschung e.V.
Leonrodstraße 54
80636 München

Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.

Patentansprüche

- 5
1. Vorrichtung (1) zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen, insbesondere Schraubverbindungen, wobei die Vorrichtung Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) sowie mindestens ein Meßelement (3) aufweist, wobei das Meßelement zumindest be-
- 10 reichsweise mit einer Schicht (4) versehen ist, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweist, dadurch gekennzeichnet, daß die Oberfläche der Schicht als Tragprofile zur Kraftaufnahme ausgebildete flächige Erhebungen (5a, 5b) zur Aufnahme einer durch die Kraftaufbringungselemente aufgebracht
- 15 aufbrachten Kraft aufweist.
2. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß der kraftsensorische Effekt in einer elektrischen Widerstandsänderung der Schicht bei Änderung einer aufgebracht
- 20 Kraft besteht.
3. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die kraftsensitive Schicht aus diamantähnlichen kohlenstoffbasierenden Schichten mit amorpher und/oder nanokristalliner Struktur besteht.
- 25
4. Vorrichtung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) der Kopf (2a) einer Schaftschraube (6) sowie die dazu komplementäre Mutter (2b) der Schaftschraube sind.
- 30
5. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement (3) sich gegenüberliegende Ober- (7) und

Unterseiten (8) aufweist, wobei die Ober- und/oder Unterseite jeweils zumindest teilweise mit einer Schicht, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweist, versehen sind.

- 5 6. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Mess-
element in den Bereichen, welche nicht mit einer
kraftsensorischen Schicht belegt ist, mit einer
elektrisch isolierenden Schicht (9) versehen ist
10 oder in diesen Restbereichen unbeschichtet ist.
7. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meß-
element (3) die Form einer Scheibe mit einem
zentralen Loch aufweist.
- 15 8. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungen ringförmig auf der Oberfläche des Mes-
selementes angeordnet sind (Figuren 2b - 3f).
- 20 9. Vorrichtung nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere ringförmige Erhebungen
(5a, 5b) vorgesehen sind, welche konzentrisch
zueinander angeordnet sind.
- 25 10. Vorrichtung nach einem der Ansprüche 8 oder 9,
dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungen senk-
recht zur Umfangsrichtung der ringförmigen Erhe-
bung eine rechteckige, dreieckige oder gerundete
Form aufweisen.
- 30 11. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß mehrere Er-
hebungsbereich (5a'-5e') vorgesehen sind, wobei
diese jeweils unterschiedlicher Art und/oder An-
zahl von Erhebungen aufweisen.

12. Vorrichtung nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Erhebungsbereiche elektrisch voneinander getrennt sind.
- 5 13. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement in einer Hülse 10 zur Vermeidung von Lageänderungen des Meßelementes bei einer Relativbewegung der Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) zueinander untergebracht ist.
- 10 14. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß das Meßelement einen Kern (3') aufweist, auf den die kraftsensorische (4) Beschichtung aufgebracht ist.
- 15 15. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß der Kern (3') aus gehärtetem oder ungehärtetem Stahl, legierten Stählen oder Edelstahl, aus keramischen Werkstoffen, glasfaserverstärkten Kunststoffen etc. ist.
- 20 16. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß die kraftsensorische Schicht aus amorphem Kohlenstoff ist.
- 25 17. Vorrichtung nach einem der vorhergehenden Ansprüche, dadurch gekennzeichnet, daß diese elektrische Anschlüsse und eine elektrische Schaltung zur Signalgewinnung, -übertragung und -auswertung enthält.
- 30 18. Vorrichtung nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß die Signalwertübertragung telemetrisch erfolgt.

FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT...e.V.

Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen

5 Die Erfindung betrifft eine Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen, vorteilhafterweise von Schraubverbindungen.

10 Schraubverbindungen beruhen auf der Umwandlung eines Drehmomentes in eine Axialkraft über ein Gewinde. Diese Kraft führt zu einer elastischen Dehnung des Schraubenschaftes und preßt die zu verbindenden Bauteile kraftschlüssig aufeinander. Schraubverbindungen gehören zu den lösbaren Verbindungen in der Konstruktionstechnik, worin auch ihre größte Gefahr begründet liegt. Diese Verbindungen können ihre Funktion durch Vibration, Setzungsvorgänge oder ähnliches verlieren.

15 Zur Verhinderung des unabhängigen LöSENS werden verschiedene Methoden angewandt. Es können Splinte quer durch die Schraube gesetzt werden, die ein Herausfal-

20

len verhindern. Die Verbindung ist dann jedoch eigentlich schon gelöst. Ferner werden verschiedene Arten von Klebstoffen verwandt, welche ein Lockern durch Vibration unterbinden sollen. Des weiteren kommen federnde Schrauben zum Einsatz, welche eine Spannung aufrecht erhalten und so ein Losvibrieren verhindern sollen.

Alle diese Methoden geben aber keinen Aufschluß über den Zustand einer Schraubverbindung, sondern sollen einen einmal eingestellten Status Quo aufrecht erhalten. Die Qualität einer Schraubverbindung ist jedoch durch die axiale Vorspannung determiniert, welche sich bei anspruchsvolleren Konstruktionen auch noch in einem bestimmten Bereich bewegen muß. Zu einer ständigen Überwachung muß also eine axiale Kraft fortlaufend gemessen werden.

Zur Messung der axialen Kraft von Schraubverbindungen sind Verfahren bekannt, bei der das Anzugsdrehmoment in eine Axialkraft umgerechnet wird. Diese Verfahren liefern nur unzuverlässige Ergebnisse und sind beispielsweise sehr abhängig von Reibungskoeffizienten zwischen Schraubkopf und Unterlage, welcher sich mit der Betriebszeit stark ändert.

Weiterhin ist bekannt, zur Messung der Axialkraft ein piezoelektrisches Schichtsystem auf den Schraubenkopf zu applizieren. Über ein Ultraschall-Lesegerät erhält man so eine recht genaue Angabe der Axiallast in der Schraubverbindung. Eine derartige Vorgehensweise bringt jedoch einige Nachteile mit sich. Zum einen ist sie nicht für jede Kopfform geeignet, zum anderen muß für jeden Schraubentyp eine neue Kennlinie aufgenommen werden. Ferner ist durch die recht aufwendige Ultraschallauslesung eine Dauerüberwachung vieler

Schraubverbindungen kaum wirtschaftlich realisierbar.

5 Bekannte Lösungen sind in der DE 198 31 372 und DE
199 54 164 beschrieben worden. Diese Lösungen haben
jedoch den Nachteil, daß eine größere Verformung und
damit Meßstrecke aufgewandt werden muß, wie in DE 198
10 31 372 anhand von Fig. 1b oder 1c erkennbar. Ein gro-
ßer Nachteil der bekannten Lösungen besteht auch dar-
in, daß keine optimierte Anpassung der Axialkraftmes-
sung erfolgen kann. Bei Verwendung der piezoresisti-
ven Meßschicht auf einer U-Scheibe wie in DE 199 54
164 dargestellt wurden, zeigt die Widerstandsänderung
in Abhängigkeit der Kraft einen exponentiellen Ver-
lauf. Bei großer Belastung reduziert sich folglich
15 die Empfindlichkeit der Messung, da die Steigerung
der Kurven erheblich flacher ausfällt. Um trotzdem
noch genaue Ergebnisse über die eingeleitete Axial-
kraft in den Schraubenschaft zu erhalten, ist eine
empfindliche Meßelektronik notwendig bzw. es sind be-
20 sonders aufwendige Rahmenbedingungen zu schaffen, um
trotzdem eine ausreichend genaue und aussagekräftige
Messung durchführen zu können. Hierdurch resultieren
hohe Kosten bei trotzdem noch u.U. ungenauen Messun-
gen.

25 Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es daher, eine
Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindun-
gen vorzusehen, welche eine kostengünstige und genaue
Ermittlung der in die kraftschlüssige Verbindung,
30 insbesondere Schraubverbindung eingebrachten Axial-
kraft liefert.

Diese Aufgabe wird durch eine Vorrichtung nach An-
spruch 1 gelöst.

35 Dadurch, daß ein Meßelement, auf welches Kraftauf-

bringungselemente wirken, mit einer Schicht versehen ist, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweist, und die Oberfläche der kraftsensorischen Schicht als flächige Erhebungen ausgestaltete Schichterhebungen zur Aufnahme einer durch die Kraftaufbringungselemente aufgebrachten Kraft aufweist, kann durch die Vor-
5 sehung bestimmter Tragprofile der Kurvenverlauf (Widerstandsänderung in Abhängigkeit der eingeleiteten Kraft) eingestellt werden. Es ist somit möglich, bestimmte Erhebungsprofile so zu variieren (z.B. in ihrer Fläche bzw. Form), daß die Messung stets in einem optimalen Kurvenbereich möglich ist, bei der zur Auswertung günstige Steigung der Kurve benutzt werden kann, ohne daß aufwendige Auswertemethoden notwendig
10 sind. Somit ist es also möglich, daß der Kern des Meßelements und/oder eine Zwischenschicht und/oder die kraftsensorische Schicht flächige Erhebungen aufweisen, welche als Tragprofile ausgebildet sind. Hiermit ist eine gezielte Anpassung durch Vorgabe der gewünschten Aufnahme-
15 fläche für die aufzubringende Kraft gegeben. Unter "Kraftaufbringungselementen" sind im Sinne der vorliegenden Erfindung sämtliche Elemente (unabhängig von deren Form und Anzahl) zu verstehen, welche eine Kraft auf das erfindungsgemäße Meßelement aufbringen können.
20

Diese erfindungsgemäße Lehre ist prinzipiell für alle Schichten möglich, welche einen kraftsensorischen Effekt aufweisen. In der vorliegenden Anmeldung kann
25 unter "kraftsensorischem Effekt" ein beliebiges Material verstanden werden, welches unter dem Einfluß mechanischer Beanspruchung seinen elektrischen Widerstand ändert. Eine bekannte Untergruppe hierzu sind z.B. piezoresistive Stoffe.
30

Vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfin-
35

dung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

5 Eine sehr vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, daß die Kraftaufbringungselemente Teile einer Schraubver-
bindung sind. Hierbei kann das erste Kraftaufbrin-
gungselement der Kopf einer Schaftschraube und das
zweite Kraftaufbringungselement eine dazu komplemen-
täre Mutter der Schaftschraube sein. Alternativ ist
10 es auch möglich, einen Schraubbolzen vorzusehen, wo-
bei die Kraftaufbringungselemente durch zwei Muttern
gegeben sind, welche das Meßelement (sowie die zu
verbindenden Bauelement) einschließen. Die Erfindung
ist aber prinzipiell für sämtliche kraftschlüssigen
Verbindungen nutzbar z.B. auch für beliebige Stützen,
15 Auflagen und Ständer. Prinzipiell kann die Verbindung
auch für Nietverbindungen etc. zur Festigkeitskon-
trolle genutzt werden.

20 Eine weitere Weiterbildung sieht vor, daß das Meßele-
ment sich gegenüber liegende Ober- und Unterseiten
aufweist, wobei die Ober- und/oder Unterseite jeweils
mit einer Schicht, welche einen kraftsensorischen Ef-
fekt aufweist, versehen sind. Dies bedeutet, daß bei
dem Meßelement, welches vorzugsweise einen Flachquer-
schnitt aufweist (z.B. mit rundem oder quadratischem
Zuschnitt bzw. mit einer zusätzlichen Verdrehsiche-
25 rung versehen ist), wahlweise die Erhebungen, welche
quasi den "Kraftsensor" darstellen, an der Ober- oder
Unterseite des Meßelements angeordnet sein können.
30 Selbstverständlich ist es auch möglich, daß diese
beidseitig auf dem Meßelement angegeben sind, die Si-
gnalverarbeitung kann dann entweder in einem gemein-
samen oder einem getrennten Stromkreis für die Ober-
und Unterseite ausgewertet werden.

35 Abhängig vom Material des Kerns des Meßelementes, auf

welchem die kraftsensorische Schicht aufgebracht ist (also primär abhängig davon, ob dieser Kern elektrisch leitend ist oder nicht) kann das Meßelement in den Bereichen, welche nicht mit einer kraftsensorischen Schicht belegt sind, entweder mit einer elektrischen isolierenden Schicht (d.h. z.B. mehr als 10^{15} Ohm-cm) versehen sein oder auch in diesen Restbereichen unbeschichtet sein (bei einem elektrischen Isolator).

Für die Form des Meßelementes sind unterschiedliche Ausführungen möglich, besonders günstig ist eine hohlkreiszyllindrische Form. Hierbei hat das Meßelement die Form einer Scheibe mit einem zentralen Loch, welches dem durchführen eines Bolzens bzw. einer Schraube dient.

Insbesondere hierzu sieht eine Weiterbildung vor, daß die Erhebungen ringförmig auf der Ober- oder Unterseite des Meßelementes angeordnet sind, also z.B. konzentrisch bezüglich des Lochs zum Durchführen der Schraube. Es ist hierzu auch möglich, daß mehrere ringförmige Erhebungen vorgesehen sind, welche wiederum konzentrisch zueinander angeordnet sind.

Je nach gewünschter Auflagefläche bzw. Kraft-Verformungsbeziehung können diese ringförmigen Erhebungen senkrecht zur Umfangsrichtung einen rechteckigen, dreieckigen oder gerundeten Querschnitt aufweisen.

Unabhängig davon können auch mehrere Erhebungsbereiche vorgesehen sein, welche auch völlig unterschiedliche Geometrien aufweisen. So können z.B. einzelne Bereiche Ansammlungen nebeneinander liegender zylinderförmiger Elemente auf der Oberfläche des Meße-

menten aufweisen, rechteckförmige Elemente etc. Prinzipiell ist das Tragprofil dieser Erhebungen in Art und/oder Anzahl beliebig variierbar. Mit Hilfe von aus der Strukturierungstechnik bekannten Verfahren sind quasi beliebige Formen herstellbar. Bekannte Verfahren sind z.B. Präge-, Umform-, Pressverfahren und Verfahren der Schleif- und zerspanenden Technik sowie Ätzverfahren, Laserstrukturierung und Funken-erosion. Die unterschiedlichen Erhebungsbereiche sind (egal ob sie auf einer gemeinsamen Seite des Meßelementes untergebracht sind oder nicht) bei Bedarf auch elektrisch voneinander getrennt ansteuerbar.

Dies kann sinnvoll sein zur Temperaturkompensation bzw. zur Mittelwertbildung (Ausgleich von z.B. geometrischen Toleranzen einer Schraube bzw. eines zu verbindenden Bauteils). Prinzipiell können die auf der Ober- und Unterseite befindlichen Bereiche jeweils getrennt elektrisch angesteuert werden und in einer Parallelschaltung gemeinsam signalmäßig verarbeitet werden. Zur gezielten Beeinflussung des Widerstandes kann hierbei auch die Schichtdicke auf der Ober- bzw. Unterseite jeweils unterschiedlich ausgeführt werden.

Eine besonders vorteilhafte Weiterbildung sieht vor, daß das Meßelement, welches z.B. die Form einer Unterlegscheibe hat, in einer Öse zur Vermeidung von Lageänderungen des Meßelementes bei einer Relativbewegung der Kraftaufbringungselemente zueinander untergebracht ist. Hierdurch wird vermieden, daß z.B. bei Drehung eines Schraubenkopfes das Meßelement in Form einer Unterlegscheibe automatisch mitgedreht wird. Ein solches Mitdrehen kann insbesondere dann schädlich sein, wenn die kraftsensorische Schicht aus nicht sehr verschleißfestem Material besteht. Es kann hierbei zu Brüchen der Schicht selbst kommen, welche

die Meßwerte verfälschen bzw. die Schraubverbindung und deren angrenzenden Teile mechanisch schädigen.

5 Eine übliche Ausführungsform sieht vor, daß das Meße-
lement einen Kern aufweist, auf den die kraftsensori-
sche Beschichtung aufgebracht ist. Der Kern ist vor-
zugsweise aus gehärtetem oder ungehärtetem Stahl so-
wie legierten Stählen oder Edelstahl bzw. aus kerami-
10 schen Werkstoffen oder auch glasfaserverstärkten
Kunststoffen etc. Zur Vermeidung von Sprödbrüchen der
Beschichtung ist es bei diamantähnlichen Kohlenstoff-
verbindungen in der kraftsensorischen Schicht jedoch
nützlich, keine zu leicht verformbaren Kernmateriali-
15 en vorzusehen wie z.B. Blei. Prinzipiell ist der Kern
sogar aus Materialien mit niedrigem Schmelzpunkt her-
stellbar, da im Falle der Anwendung von kraftsensiti-
ven diamantartigen Kohlenstoffschichten die Schicht
auch in kalten Verfahren aufbringbar ist (vorzugswei-
se unter 150 Grad Celsius).

20 Die kraftsensorische Schicht kann aus verschiedenen
Materialien gebildet sein. Denkbar sind z.B. mecha-
nisch feste Halbleiter bzw. bekannte piezoresistive
Werkstoffe. Die Herstellung der kraftsensorischen
35 Schicht kann mit Hilfe bekannter CVD- und PVD-
Verfahren erfolgen, für diamantartige piezoresistive
Schichten erfolgt die Herstellung zum Beispiel mit-
tels einer Plasma-CVD-Technik. Metalldotierte dia-
mantartige kraftsensorische Schichten können z.B.
30 mittels ARC-, Sputter- und Gasflußverfahren herge-
stellt werden. Bezüglich möglicher Schichtmaterialien
wird ausdrücklich auf die DE 199 54 164 A1 verwiesen,
in welcher eine Fülle von Materialien angegeben ist.
Zur Vermeidung von Wiederholungen wird lediglich Be-
35 zug auf diese veröffentlichte Anmeldung genommen, de-
ren sämtliche Einzelheiten in Bezug auf das Material

in die vorliegende Anmeldung inkorporiert werden soll. Es ist zu betonen, daß die Ausbildung der kraftsensorischen Schicht aus amorphem Kohlenstoff besonders vorteilhaft ist. Es können z.B. graphitische Strukturen mit sp^2 -Hybridisierung in Kombination mit diamantähnlichen Strukturen mit sp^3 -Hybridisierung vorgesehen werden.

Die erfindungsgemäße Vorrichtung kann außerdem elektrische Anschlüsse und eine elektrische Schaltung zur Signalgewinnung, -übertragung und -auswertung enthalten. Um Probleme durch Flüssigkeitseintrag bzw. Drehbarkeit einzelner Elemente gegeneinander zu vermeiden, kann die Signalwertübertragung auch telemetrisch erfolgen.

Weitere vorteilhafte Weiterbildungen der vorliegenden Erfindung werden in den abhängigen Ansprüchen angegeben.

Die Erfindung wird nun anhand mehrerer Figuren erläutert. Es zeigen:

Figur 1 eine erfindungsgemäße Vorrichtung zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen im eingebauten Zustand;

Figuren 2a und 2b eine Draufsicht sowie einen Querschnitt einer ersten Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Meßelementes;

Figuren 3a bis 3f weitere Ausführungsformen eines erfindungsgemäßen Meßelementes;

Figur 4 verschiedene Erhebungsbereiche in der

Draufsicht einer weiteren Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Meßelementes.

5 Figur 1 zeigt eine Vorrichtung 1 zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen. Gezeigt ist eine Schraubverbindung. Ein Schraubenschaft 6 weist an seinem oberen Ende ein fest damit verbundenen Schraubenkopf 2a sowie an seinem unteren Ende eine mittels eines Gewindes aufgeschraubte Mutter 2b auf. Schraubenkopf 2a und Mutter 2b stellen zwei Kraftaufbringungselemente im Sinne der Erfindung dar.

10
15 Zwischen diesen Kraftaufbringungselementen sind zwei kraftschlüssig zu verbindende Bauelemente 12a und 12b angebracht, welche über korrespondierende Öffnungen zur Durchführung des Schraubenschaftes 6 verfügen. Auf dem oberen Bauelement 12a ist ein erfindungsgemäßes Meßelement 3 innerhalb einer Hülse 10 vorgesehen. 20 Das Meßelement 3 ist im wesentlichen ganzflächig von einer Schicht 4 überzogen. An der Ober- sowie an der Unterseite des Meßelementes 3 sind konzentrisch zu einer zentralen Bohrung zum Durchführen des Schraubenschaftes 6 konzentrische ringförmige Erhebungen 5a (außen) und 5b (innen) angebracht. Diese ragen aus der Ober- bzw. Unterseite des Meßelementes 3 heraus und stehen mit den Innenseiten der Hülse 10 in Verbindung, d.h. daß lediglich die Erhebungen mit der 30 oberen bzw. unteren Innenwand der Hülse verbunden sind und somit auch nur diese bei Verkürzung des Abstandes zwischen den beiden Kraftaufbringungselementen eine Druckkraft erfahren.

35 Zur Detektierung der Höhe einer Druckkraft auf das Meßelement 3 weist die Schicht 4 einen kraftsensorischen Effekt im Sinne der oben angegebenen Definition

auf. Die Schicht 4 ist hier durch einen amorphen Kohlenstoff gebildet, wie er z.B. der De 199 54 164 Al entnehmbar ist. Denkbar sind für diesen Einsatzzweck aber prinzipiell sämtliche Werkstoffe, welche bei mechanischer Belastung eine Änderung ihres elektrischen Widerstandswertes zeigen.

Wesentlich ist für die vorliegende Erfindung, daß durch die Ausbildung der Tragprofile auf dem Meßelement 3, d.h. die kraftaufnehmenden Erhebungen (z.B. 5a und 5b) die Fläche, auf welche die Druckkraft der Kraftaufbringungselemente verteilt wird, in praktisch beliebigen Grenzen variiert werden kann. Dies ist, wie bereits oben ausgeführt, nützlich, um einen zur Auswertung günstigen Bereich der Beziehung zwischen aufgebrachter Kraft und elektrischer Widerstandsänderung zu erhalten.

In einer bevorzugten Ausführung erfolgt die elektrische Kontaktierung über den Kern des Meßelements 3 und die zweite Kontaktierung über die Masse der Vorrichtung. Es sind jedoch auch andere meßtechnische Auswertungen möglich.

Die meßtechnische Auswertung erfolgt über elektrische Kontakte 11a und 11b. Hierbei sind der elektrische Kontakt 11a und 11b zunächst elektrisch voneinander isoliert. Sie stehen jeweils mit den voreinander elektrisch isolierten kraftsensorischen Schichten der Ober- bzw. Unterseite in Verbindung. Prinzipiell bilden die Schichten auf der Ober- sowie auf der Unterseite voneinander unabhängige Meßsensoren des Meßelementes 3, welche jeweils mit einem nicht dargestellten weiteren Pol (Massepol, hierzu sind bei den angrenzenden Bauteilen fachübliche elektrisch leitende Materialien zu wählen) verbunden sind. Zur Verbesse-

5
10
15
20
25
30
35

rung der Signalgüte können die Signale der kraftsensorischen Schichten der Ober- bzw. Unterseite in einer gemeinsamen Parallelschaltung aufgenommen und später ausgewertet werden.

Das Meßelement 3 kann selbstverständlich auch lediglich auf der Ober- bzw. nur auf der Unterseite eine kraftsensorische Schicht aufweisen, hierzu wird auf die später gezeigten Ausführungsformen verwiesen.

Eine besonderen Vorteil zeigt die Ausführungsform nach Figur 1, da das Meßelement 3 in einer Hülse 10 zur Verdrehsicherung untergebracht ist. Die Hülse 10 kann (wie auch der Schraubenschaft 6 sowie die Kraftaufbringungselemente 2a und 2b) aus einem elektrisch leitenden Metall bestehen. Durch Zwischenschaltung der Hülse 10 wird einerseits eine Relativbewegung zwischen Schraubenkopf 2a und beschichteten Erhebungen 5b bzw. 5a vermieden sowie eine Verdrehsicherung erreicht. Hierzu kann zwischen Hülse 10 und Bauteil 12a auch eine zusätzliche Verdrehsicherung mittels korrespondierender formschlüssiger Eingriffe vorgesehen sein.

Es wird aber ausdrücklich betont, daß die Hülse 10 kein wesentliches Merkmal der Gesamterfindung darstellt, d.h. daß sämtliche der hier gezeigten Ausführungsformen auch ohne Hülse 10, d.h. also direkt zur Auflage auf dem Bauteil 12a bzw. dem Schraubenkopf 2a geeignet sind.

Für den Aufbau des Meßelementes 3 sind - neben der Art der Erhebungen 5a und 5b - auch unterschiedliche Bauformen in Bezug auf das Material eines Kerns 3' des Meßelementes 3 sowie der darauf aufgetragenen kraftsensorischen bzw. elektrisch isolierenden

Schichten möglich. Vorliegend ist der Kern aus einfachem ungehärtetem Stahl, es sind jedoch auch je nach Anwendung beliebige gehärtete Edelstähle sowie Stahllegierungen möglich, ferner keramische Werkstoffe oder glasfaserverstärkte Kunststoffe (siehe oben in der Beschreibungseinleitung).

Figur 2a und 2b zeigen eine weitere Ausführungsform eines erfindungsgemäßen Meßelementes. Dieses weist an seiner flachen Unterseite 8 eine elektrisch isolierende Schicht 9 auf. Als elektrischer Isolator ist hierbei eine Substanz von 10^{15} Ohm-cm oder mehr spezifischem Widerstand zu sehen. Als Isolatoren kommen z.B. Al_2O_3 , TiO_2 , SiO_2 , SiN oder ein Material aus hochohmigem diamantartigem Kohlenstoff, welches unter der Marke "SiCON®" vertrieben wird, in Betracht. Das Meßelement 3 zeigt einen hohlzylindrischen Flachquerschnitt mit lediglich um eine zentrale Öffnung konzentrisch angeordneten Erhebung auf der Oberseite. Die Oberseite ist hierbei mit einer kraftsensorischen Schicht 4 überzogen. Je nach Verlauf der gewünschten Kurve zwischen Druckkraft und Änderung des elektrischen Widerstandes sowie abhängig von der Härte/Sprödigkeit der kraftsensorischen Schicht 4 kann der Querschnitt der Erhebungen 5a senkrecht zur Umfangsrichtung dieser kreisringförmigen Erhebungen eine unterschiedliche Form aufweisen. Für eher großflächige Druckeinleitung sind rechteckige Querschnittsformen wie in Figur 2b ersichtlich möglich, es sind jedoch auch dreieckige oder gerundete Formen für eine stärkere Drucküberhöhung wählbar.

Figuren 3a bis 3f zeigen weitere Ausführungsformen erfindungsgemäßer Meßelemente 3. Ihnen allen ist gemeinsam, daß sie zumindest bereichsweise im Bereich von Erhebungen des Meßelementes 3 eine kraftsensori-

sche Schicht aufweisen; welche mit einem elektrischen Kontakt in Verbindung steht. Die kraftsensorische Schicht sollte vorteilhafterweise einen spezifischen elektrischen Widerstand von weniger als 10^8 bis 10^{-2} Ohm-cm aufweisen.

Figur 3a zeigt wiederum eine hohlkreiszyklindrische Ausführung des Meßelementes 3 mit drei konzentrischen ringförmigen und im Querschnitt rechteckigen Erhebungen 5a, 5b, 5c. Die Unterseite des Meßelementes 3 ist mit einem Isolator 9 belegt. Figur 3b zeigt eine weitere Ausführungsform mit lediglich zwei konzentrischen Erhebungen auf der Oberseite, die Kreisinge ist jedoch über ihre gesamte Fläche mit einer durchgängigen kraftsensorischen Schicht 4 ummantelt.

Figur 3c zeigt eine weitere Ausführungsform mit lediglich einer kreisringförmigen Erhebung 5a auf der Oberseite, die Unterseite des Meßelementes 3 ist nicht beschichtet (weder mit einer kraftsensorischen noch mit einer isolierenden Schicht).

Figur 3d zeigt eine weitere Ausführungsform, bei welcher Ober- sowie Unterseite jeweils mit gleich gestalteten konzentrischen kreisringförmigen Erhebungen versehen sind.

Figur 3e und 3f zeigen weitere Ausführungsformen, bei welchen die Unterseite entweder aus einem Isolator oder einer kraftsensorischen Schicht besteht, die mehreren Erhebungen auf der Oberseite sind wahlweise im Querschnitt senkrecht zur Umfangsrichtung der kreisringförmigen Erhebungen dreieckig oder gerundet.

Schließlich zeigt Figur 4 eine weitere Ausführungs-

form eines erfindungsgemäßen Meßelementes 3 in der Draufsicht. Dieses weist keine bezüglich der Zentralachse zur Durchführung des Schraubenschafts rotationssymmetrische Ausgestaltung auf. Statt dessen sind mehrere Erhebungsbereiche 5a' bis 5e' gezeigt. Diese bestehen jeweils aus Feldern mit Tragprofilen, welche eine jeweils unterschiedliche Art und/oder Anzahl von Erhebungen aufweisen. Als Form kommen beliebige in der Draufsicht sichtbare noppen- bzw. streifenförmige Elemente in Betracht, z.B. solche mit rundem, rechteckigem, kreissegmentbogenförmiger Draufsicht in Betracht. Die Tragfiguren können unterschiedliche Querschnittsprofile aufweisen. So sind Profile mit senkrechten und schrägen Kanten sowie gerundete Querschnittsprofile machbar.

Es ist auch möglich, verschiedene Erhebungsbereiche elektrisch voneinander zu trennen (unabhängig davon, ob diese auf der Ober- und/oder Unterseite des Meßelementes 3 angebracht sind). Die verschiedenen Erhebungsbereiche können hierbei identische oder auch unterschiedliche Tragprofile aufweisen. Ein Einsatzzweck hierfür liegt z.B. darin, Meßungenauigkeiten infolge von Temperaturschwankungen auszugleichen.

Zusammenfassung:

Die vorliegende Erfindung betrifft eine Vorrichtung
(1) zur Kontrolle kraftschlüssiger Verbindungen, ins-
besondere Schraubverbindungen. Die Vorrichtung weist
zwei Kraftaufbringungselemente (2a, 2b) sowie ein da-
zwischenliegendes Meßelement (3) auf, wobei das Meße-
lement zumindest bereichsweise mit einer Schicht (4)
versehen ist, welche einen kraftsensorischen Effekt
aufweist. Die Oberfläche der Schicht zeigt Erhebungen
(5a, 5b) zur Aufnahme einer durch die Kraftaufbrin-
gungselemente aufgebrachten Kraft.

(Figur 1)

Fig. 1

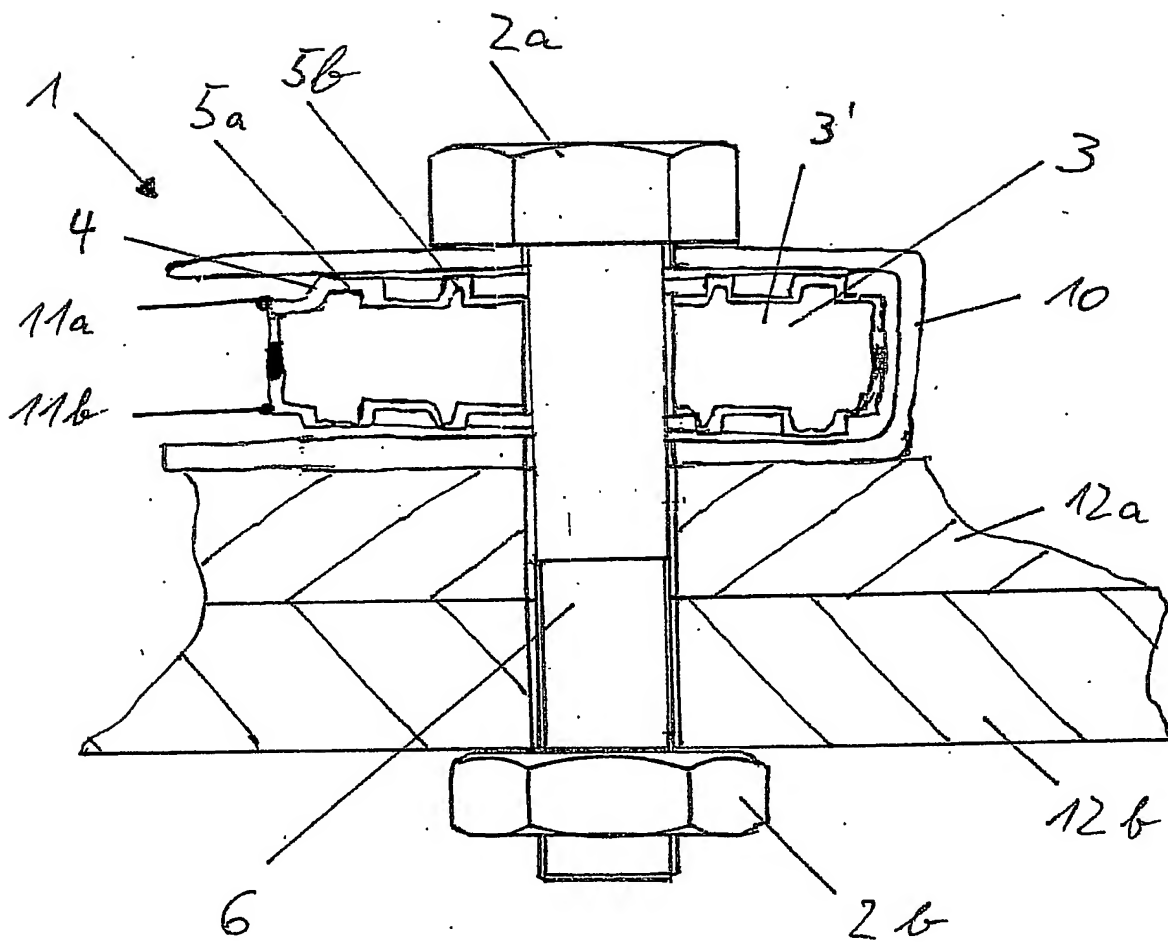


Fig. 2a

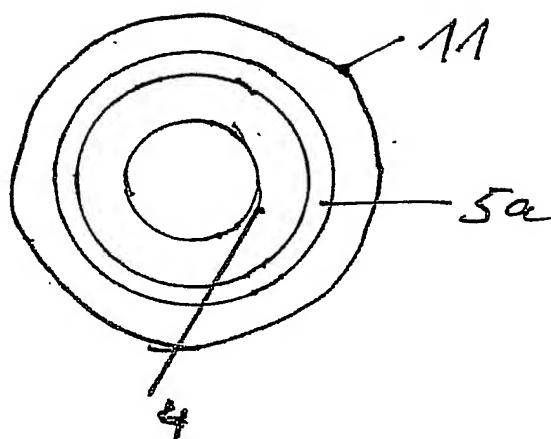


Fig. 2b

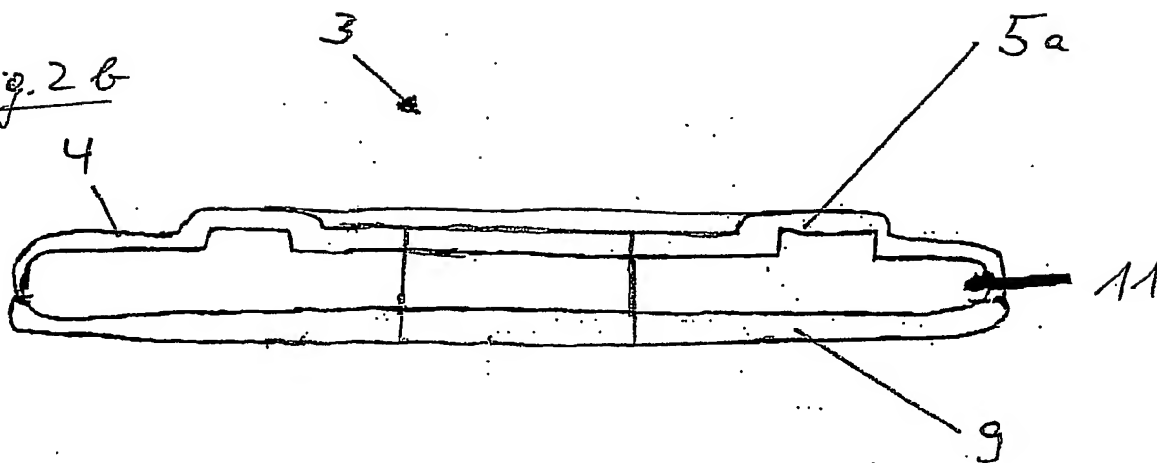


Fig. 3a

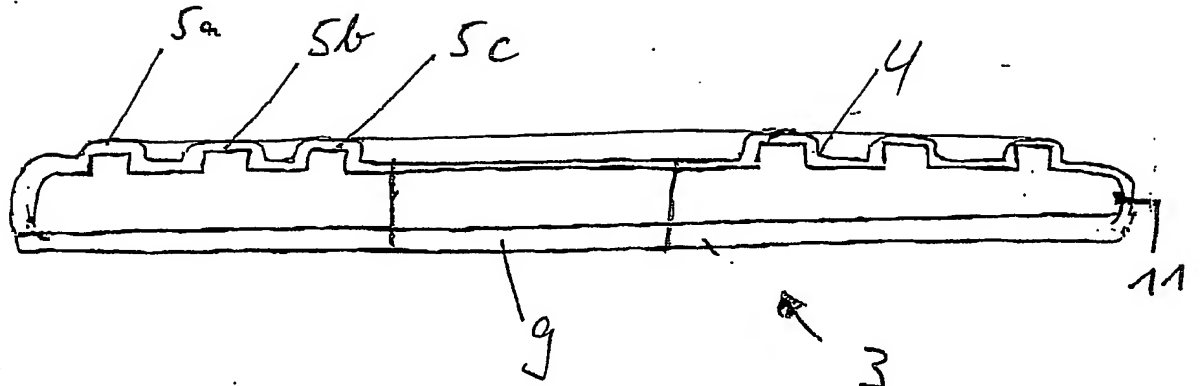


Fig. 3b

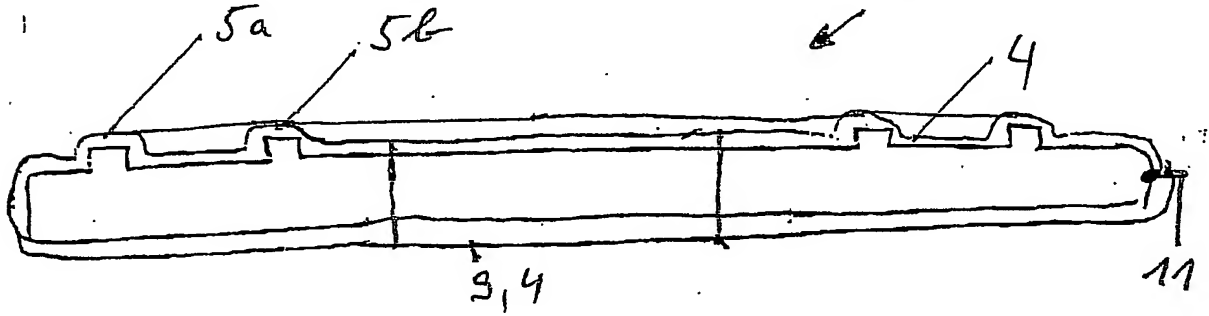


Fig. 3c

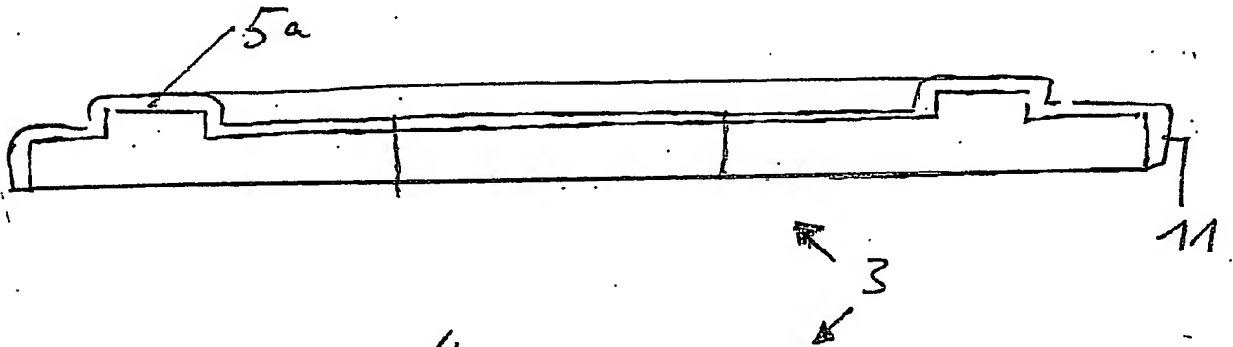


Fig. 3d

